

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Энергетическая безопасность

АНАЛИЗ ПОЛИТИКИ ВЕДУЩИХ СТРАН В СФЕРЕ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ*

Марина Сергеевна РЕШЕТНИКОВА ^{a,*},
Константин Геннадьевич ГОМОНОВ ^b

^a кандидат экономических наук,
доцент кафедры экономико-математического моделирования,
Российский университет дружбы народов (РУДН),
Москва, Российская Федерация
reshetnikova-ms@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2779-5838>
SPIN-код: 1333-6230

^b кандидат экономических наук,
доцент кафедры экономико-математического моделирования,
Российский университет дружбы народов (РУДН),
Москва, Российская Федерация
gomonov-kg@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6288-8664>
SPIN-код: 8999-9768

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 61/2024
Получена 01.02.2024
Получена в
доработанном виде
28.03.2024
Одобрена 10.04.2024
Доступна онлайн
16.05.2024

Специальность: 5.2.5

УДК 338.2

JEL: E22, E65, F17, F51,
O25

Ключевые слова:

водородная энергетика,
водородные технологии,
водородная политика,
углеродная
нейтральность,
возобновляемая энергия

Аннотация

Предмет. Развитие технологий производства водорода, использование возобновляемых источников энергии.

Цели. Оценка перспектив развития водородной энергетики в США, России, Китае и Германии.

Методология. Применены методы сравнительного анализа.

Результаты. Установлено, что развитие водородной энергетики способствует достижению углеродной нейтральности, формированию энергетической структуры будущего.

Выводы. Стоимость производства водорода остается главной проблемой, которая препятствует широкому распространению водородной энергетики.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2024

Для цитирования: Решетникова М.С., Гомонов К.Г. Анализ политики ведущих стран в сфере развития водородной энергетики // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2024. – Т. 20, № 5. – С. 989 – 1002.
<https://doi.org/10.24891/ni.20.5.989>

Введение

Использование водорода в качестве альтернативного источника энергии представляет собой значительный интерес для многих стран в свете глобальных проблем, связанных с изменением климата и необходимостью сокращения выбросов углекислого газа [1]. Цель данного исследования – провести глубокий анализ политики по развитию водородной энергетики в разных странах, выявить и сравнить разнообразные подходы и стратегии. Для достижения поставленных целей использован комплексный подход (анализ научных работ, отчетов правительственных организаций, публикаций экспертов, нормативно-правовой базы).

Теоретический обзор

В XIX в. водород нашел первое практическое применение в воздухоплавании, а именно – для заправки воздушных шаров и дирижаблей [2]. Впоследствии были созданы двигатели внутреннего сгорания на смеси водорода и кислорода, автомобили, работающие на водороде, но эти нововведения не получили широкого распространения из-за проблем с безопасностью и развитием бензиновых двигателей [3].

Водородные топливные элементы использовались для питания подводных лодок во время Второй мировой войны, в американской космической программе 1960-х гг., в том числе в программе «Аполлон», а нефтяной кризис 1970-х гг. стимулировал дальнейшие исследования водорода как альтернативного источника энергии [4, 5]. Министерство энергетики США учредило Национальную лабораторию возобновляемой энергетики для разработки новых водородных технологий¹.

В настоящее время спектр применения водородных технологий широк – от питания автомобилей, автобусов и поездов до стационарных систем электропитания (резервное питание зданий и центров обработки данных). Водород рассматривается как потенциальное решение для хранения

^{*} Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда. Грант № 22-78-10089.

¹ История развития водорода и водородных технологий.
URL: <https://vodorod.hermes-gas.ru/blog/istoriya-razvitiya-vodoroda-i-vodorodnyh-tekhnologij>

энергии, вырабатываемой из возобновляемых источников. Существует множество методов промышленного производства водорода (паровая конверсия природного газа, газификация угля, использование атомной энергии и электролиз воды), и каждый из них имеет свои особенности, в том числе экономические [6].

Сравнительный анализ исследований в области «водородной политики» показывает наличие разнообразных подходов и стратегий [7]. Например, специалисты Оксфордского института энергетических исследований и Института экономики энергетики университета Кельна предполагают, что до 2030 г. крупнейшим странам Европы следует сосредоточиться на развитии «синего» водорода, поскольку к данному времени ожидается увеличение масштабов возобновляемой энергетики, и это оправдывает инвестиции в электролиз. Специалисты отмечают, что предложение низкоуглеродного водорода («синего» плюс «зеленого») до 2030 г. будет ниже, чем существующее промышленное производство серого водорода, и прогнозируется, что стоимость «зеленого» водорода снизится до 2–3 евро за килограмм к 2050 г., хотя в оценках будущей стоимости существуют значительные расхождения [8].

По мнению исследователей, в России существует потребность в более эффективном использовании энергоресурсов². Энергоемкость российского валового внутреннего продукта значительно выше мирового уровня, что указывает на возможности для повышения эффективности энергопотребления. Этот показатель имеет весомое значение для определения направлений инвестиций и развития технологий.

Методология исследования

Информационную базу исследования составили научные работы, отчеты правительственных организаций и публикации экспертов в области энергетики. Анализ нормативно-правовой базы позволил выявить главные стратегии развития водородной энергетики в различных странах.

В процессе отбора стран для анализа авторы руководствовались такими критериями, как геополитическое влияние, уровень развития водородной энергетики, наличие развитой инфраструктуры, значимых инициатив или стратегий, поэтому перспективы развития водородной энергетики были рассмотрены на примере США, Германии, Китая и России.

² Водородная экономика и CCUS. Низкоуглеродный водород из природного газа: глобальная перспектива и возможности для России. URL: <https://www.skolkovo.ru/centres/senec/senec-research-new-policy/>

Результаты исследования

В советскую эпоху водородная энергетика активно развивалась (отметим такой проект, как орбитальный космический челнок «Буран»). В период реформ (в 1990-е гг.) данный сектор пришел в упадок. Восстановление интереса к водородной энергетике началось в 2000-е гг. В 2003 г. в целях стимулирования развития водородных технологий была создана Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ). Примерами инициатив являются открытие в Московской области в 2020 г. первой водородной заправочной станции. Отметим также разработки по использованию водорода на атомных электростанциях как накопителя энергии [9].

Россия обладает значительными конкурентными преимуществами в производстве водорода (низкие удельные выбросы углекислого газа, значительный солнечный и ветровой потенциал, наличие природных ресурсов для производства низкоуглеродного водорода, недозагруженных генерирующих мощностей, возможность строительства новых объектов низкоуглеродной энергетики) [10]. Россия заинтересована в формировании как глобального, так и локального рынков водорода. Например, компания «Газпром водород» рассматривает возможность экспорта водорода и ведет переговоры с иностранными партнерами³.

В августе 2021 г. Правительством Российской Федерации была утверждена Концепция развития водородной энергетики – документ, в котором обозначены направления развития данной перспективной отрасли топливно-энергетического комплекса. В концепции подчеркивается стремление России стать одним из мировых лидеров по производству и экспорту водорода. Планируется увеличить экспорт водорода до 0,2 млн т до 2 млн т [11].

Для поддержки развития водородной энергетики правительство России разрабатывает пилотные проекты по производству водорода [12], что создает стимул для экспортеров и покупателей водорода на внутреннем рынке. Активно обсуждаются и разрабатываются конкретные меры поддержки. В качестве первых производителей водорода выступают крупные государственные компании («Газпром» и «Росатом»), которые планируют запустить в 2024 г. пилотные водородные установки на атомных электростанциях и объектах добычи газа⁴. Среди главных направлений политики в данной сфере авторы выделяют развитие технологий паровой

³ Максимова М.А. Водородная энергетика в России: современное положение и перспективы развития // Молодой ученый. 2023. № 11. С. 97–100.

конверсии природного газа и электролиза воды, эксплуатацию атомных электростанций, гидроэлектростанций, использование возобновляемых источников энергии, формирование энергосистемы для производства водорода.

В США основные исследования, разработки и демонстрационные проекты, связанные с производством водорода, затрагивают такие сферы, как энергоэффективность, возобновляемые ископаемые источники энергии, ядерная энергетика, электроэнергетика [13]. Основное внимание уделяется производству водорода из различных низкоуглеродных внутренних источников энергии, улавливанию, использованию и хранению углерода (Carbon Capture, Use And Storage, CCUS) [14]. Министерством энергетики США поддерживается реализация таких проектов, как демонстрация высокотемпературного и низкотемпературного электролиза на реакторах для массового производства водорода, гибкая эксплуатация легководных реакторов с интегрированными системами производства водорода (компании Xcel Energy, FuelCell Energy Inc)⁵.

В 2005 г. Сенат США принял закон *Energy Policy Act of 2005*, предусматривающий выделение более 3 млрд долл. США на различные «водородные» проекты и 1,25 млрд долл. США на строительство атомных реакторов, производящих водород. В январе 2006 г. Департамент энергетики США принял документ *Roadmap on Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy*, который предусматривал обеспечение коммерческой доступности водорода к 2015 г. [15].

В Китае главная цель политических усилий в сфере водородной энергетики заключается в обеспечении углеродной нейтральности к 2060 г. Водородная промышленность выделяется как «отрасль будущего» [16]. В марте 2022 г. были опубликованы среднесрочный и долгосрочный планы развития водородной энергетики (на 2021–2035 гг.), которые задают стратегические ориентиры для развития отрасли. Так, к 2035 г. планируется сформировать промышленную систему производства, транспортировки и хранения водородной энергии⁶.

⁴ «Газпром» и «Росатом» начнут производить «чистый» водород в 2024 году.
URL: <https://www.rbc.ru/business/22/07/2020/5f1565589a794712b40faedf?from=copy>

⁵ Department of Energy Hydrogen Program Plan.
URL: <https://static1.squarespace.com/static/5e8961cdcbb9c05d73b3f9c4/t/5fb30a2114b30c71d53bce0c/1605569093698/hydrogen-program-plan-2020.pdf>

⁶ China – Hydrogen Roadmap: 4 Things to Know.
URL: <https://hydrogen-central.com/china-hydrogen-roadmap-things-to-know/>

Стратегия Китая делает упор на «зеленый» водород, который подразумевает декарбонизацию и решение проблем в областях, где электрификация невозможна. В последние годы наблюдается значительный прогресс в производстве водорода из возобновляемых источников энергии. Стоимость производства остается главной проблемой, которая препятствует широкому распространению водородной энергетики⁷.

Региональные инициативы существенно способствуют развитию водородной энергетики в Китае. Например, провинция Цзилинь стремится стать национальной базой возобновляемых источников водорода: общественный транспорт переводится на водородное топливо, инвесторы поддерживают развитие низкоуглеродных водородных технологий, для производства «зеленого» используется ветровая и солнечная энергия [17]. Китай активно сотрудничает с Россией в области развития водородной энергетики. Например, компания «Росатом Оверсиз» и Китайская энергетическая компания подписали меморандум о взаимопонимании, предусматривающий организацию производства низкоуглеродного водорода на острове Сахалин [18].

В Германии принята Национальная водородная стратегия, которая фокусируется на создании климатически нейтральной экономики к 2045 г. Стратегия подразумевает переход на возобновляемые источники энергии (солнечные установки, ветрогенераторы, новые линии электропередачи). Самым главным направлением является производство «зеленого» водорода путем электролиза с использованием возобновляемой электроэнергии (производство серого водорода, напротив, связано с выбросом углекислого газа) [19]. Водородная стратегия будет использоваться на современных газовых электростанциях для выработки электроэнергии, в транспортных системах – для снижения воздействия на климат, в сталелитейной отрасли – для производства углеродно нейтральной стали. Для реализации данной стратегии Германия планирует значительно увеличить производственные мощности, в том числе за счет импорта водорода из стран с развивающейся экономикой, таких как Марокко, Бразилия, Тунис, Алжир, Намибия и ЮАР. В рамках данного сотрудничества Германия инвестирует в развитие соответствующих технологий и обучение специалистов в этих странах, соблюдая высокие стандарты в отношении прав человека, экологии и устойчивого развития [20].

⁷ Водород становится краеугольным камнем энергетической стратегии Китая: прогресс и проблемы. URL: <https://www.cjoglobal.com/ru/2023/08/31/hydrogen-emerges-as-cornerstone-of-chinas-energy-strategy-progress-and-challenges/>

Национальная водородная стратегия получила финансирование в размере 9 млрд евро. Немецкий аэрокосмический центр (DLR) проводит исследования в сфере электролиза и солнечной энергетики. Стратегия получила широкую поддержку на политическом уровне и рассматривается как основополагающий элемент для экономического развития, создания новых рабочих мест и достижения климатических целей как в Германии, так и во всем мире [21].

Обсуждение результатов исследования

В ходе анализа политики ведущих стран в области развития водородной энергетики авторы установили, что, например, Россия фокусируется на использовании собственных энергетических ресурсов и разработке технологий, позволяющих повысить эффективность энергопотребления. В США развитие водородной энергетики является частью более широкой стратегии, связанной с развитием в том числе ядерной энергетики. Китай ориентируется на достижение углеродной нейтральности, уделяя основное внимание «зеленому» водороду. Приоритеты Германии связаны с формированием климатически нейтральной экономики.

Каждая страна применяет свои уникальные технологии с учетом доступности ресурсов. Стоимость производства водорода и его влияние на окружающую среду становятся факторами, влияющими на выбор стратегии в разных странах. Различия в оценках будущей стоимости «зеленого» водорода и разнообразие подходов к решению проблемы углеродных выбросов также оказывают влияние на разработку «водородной политики». В стратегии, принятые в различных странах, входят как краткосрочные, так и долгосрочные планы, затрагивающие различные вопросы водородной энергетики (производство, хранение, транспортировка и использование водорода).

Заключение

Авторы выявили общий тренд – усиление акцента на водородную энергетику на глобальном уровне, несмотря на различия в подходах и стратегиях. Подобное движение способствует достижению углеродной нейтральности, формированию энергетической структуры будущего.

Список литературы

1. *Falcone P.M., Hiete M., Sapio A.* Hydrogen Economy and Sustainable Development Goals: Review and Policy Insights. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, vol. 31.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100506>
2. *Tarasov B.P., Lototskii M.V.* Hydrogen Energetics: Past, Present, Prospects. *Russian Journal of General Chemistry*, 2007, vol. 77, pp. 660–675.
URL: <https://doi.org/10.1134/S1070363207040299>
3. *Squadrito G., Maggio G., Nicita A.* The Green Hydrogen Revolution. *Renewable Energy*, 2023, vol. 216.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119041>
4. *Mancera J.J.C., Manzano F.S., Andujar J.M. et al.* Sun, Heat and Electricity. A Comprehensive Study of Non-pollutant Alternatives to Produce Green Hydrogen. *International Journal of Energy Research*, 2022, vol. 46, iss. 13, pp. 17999–18028. URL: <https://doi.org/10.1002/er.8505>
5. *Khalilpour K.R., Pace R., Karimi F.* Retrospective and Prospective of the Hydrogen Supply Chain: A Longitudinal Techno-Historical Analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, iss. 59, pp. 34294–34315. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.099>
6. *Gomonov K., Reshetnikova M., Ratner S.* Economic Analysis of Recently Announced Green Hydrogen Projects in Russia: A Multiple Case Study. *Energies*, 2023, vol. 16, iss. 10. URL: <https://doi.org/10.3390/en16104023>
7. *Мастепанов А.М.* Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергетическая политика. 2020. № 12. С. 54–65.
URL: <https://energypolicy.ru/a-mastepanov-vodorodnaya-energetika-rossii-sostoyanie-i-perspektivy/energoperehod/2020/14/23/>
8. *Lambert M., Schulte S.* Contrasting European Hydrogen Pathways – An Analysis of Differing Approaches in Key Markets. *OIES Paper*, 2021, no. 166. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/246554/1/978-1-78467-155-6_ng166.pdf
9. *Коданева С.И.* Основные направления и перспективы энергетического перехода в России // Экономические и социальные проблемы России.

2022. № 1. С. 79–95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-i-perspektivy-energeticheskogo-perehoda-v-rossii/viewer>
10. *Славецкая Н.С., Тумарова Т.Г.* Место России в парадигме водородной энергетики // *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. 2021. № 6. С. 19–22.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-rossii-v-paradigme-vodorodnoy-energetiki/viewer>
11. *Попова И.М., Колмар О.И.* Низкоуглеродное развитие России: вызовы и возможности в новых условиях // *Вестник международных организаций*. 2023. Т. 18. № 4. С. 62–95.
URL: <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-04-03>
12. *Василькова С.В.* Развитие водородной энергетики в России: вызовы времени и актуальные правовые вопросы // *Экономика. Право. Общество*. 2022. Т. 7. № 2. С. 50–58.
URL: <https://epo.rea.ru/jour/article/view/465/395>
13. *Moura J., Soares I.* Financing Low-carbon Hydrogen: The Role of Public Policies and Strategies in the EU, UK and USA. *Green Finance*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 265–297. URL: <https://doi.org/10.3934/GF.2023011>
14. *Wendt A., Sheriff A., Shih C.Y. et al.* A Multi-criteria CCUS Screening Evaluation of the Gulf of Mexico, USA. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2022, vol. 118.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103688>
15. *Cader J., Koneczna R., Olczak P.* The Impact of Economic, Energy, and Environmental Factors on the Development of the Hydrogen Economy. *Energies*, 2021, vol. 14, iss. 16. URL: <https://doi.org/10.3390/en14164811>
16. *Ren X., Dong L., Xu D., Hu B.* Challenges towards Hydrogen Economy in China. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, iss. 59, pp. 34326–34345. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.163>
17. *Wu W.-P., Wu K.-X., Zeng W.-K., Yang P.-C.* Optimization of Long-distance and Large-scale Transmission of Renewable Hydrogen in China: Pipelines vs. UHV. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, vol. 47, iss. 58, pp. 24635–24650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.066>

18. Baboshkin P. Strategic Energy Partnership between Russia and China. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 158–163. URL: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9032>
19. Bhandari R., Shah R.R. Hydrogen as Energy Carrier: Techno-economic Assessment of Decentralized Hydrogen Production in Germany. *Renewable Energy*, 2021, vol. 177, pp. 915–931. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.149>
20. Galimova T., Fasihi M., Bogdanov D., Breyer C. Impact of International Transportation Chains on Cost of Green e-Hydrogen: Global Cost of Hydrogen and Consequences for Germany and Finland. *Applied Energy*, 2023, vol. 347. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121369>
21. Silberhorn D., Dahlmann K., Görtz A. et al. Climate Impact Reduction Potentials of Synthetic Kerosene and Green Hydrogen Powered Mid-Range Aircraft Concepts. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 12. URL: <https://doi.org/10.3390/app12125950>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Energy Security

ANALYZING THE HYDROGEN ENERGY DEVELOPMENT POLICIES OF LEADING COUNTRIES

Marina S. RESHETNIKOVA ^{a,*},
Konstantin G. GOMONOV ^b

^a Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
Moscow, Russian Federation
reshetnikova-ms@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2779-5838>

^b Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
Moscow, Russian Federation
gomonov-kg@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6288-8664>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 61/2024
Received 1 Feb 2024
Received in revised
form 28 March 2024
Accepted 10 April 2024
Available online
16 May 2024

JEL classification:

E22, E65, F17, F51,
O25

Abstract

Subject. The article investigates the development of hydrogen production technologies and use of renewable energy sources.

Objectives. The focus is on assessing prospects for hydrogen energy development in the USA, Russia, China, and Germany.

Methods. The study employed methods of comparative analysis.

Results. We established that the development of hydrogen energy promotes carbon neutrality and the shaping of energy structure of the future.

Conclusions. The cost of hydrogen production remains the main problem that hinders the widespread use of hydrogen energy.

Keywords: hydrogen
energy, hydrogen
technologies, hydrogen
policy, carbon neutrality,
renewable energy

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2024

Please cite this article as: Reshetnikova M.S., Gomonov K.G. Analyzing the Hydrogen Energy Development Policies of Leading Countries. *National Interests: Priorities and Security*, 2024, vol. 20, iss. 5, pp. 989–1002.
<https://doi.org/10.24891/ni.20.5.989>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Science Foundation (RSF), grant № 22-78-10089.

References

1. Falcone P.M., Hiete M., Sapio A. Hydrogen Economy and Sustainable Development Goals: Review and Policy Insights. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, vol. 31.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100506>
2. Tarasov B.P., Lototskii M.V. Hydrogen Energetics: Past, Present, Prospects. *Russian Journal of General Chemistry*, 2007, vol. 77, pp. 660–675.
URL: <https://doi.org/10.1134/S1070363207040299>
3. Squadrino G., Maggio G., Nicita A. The Green Hydrogen Revolution. *Renewable Energy*, 2023, vol. 216.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119041>
4. Mancera J.J.C., Manzano F.S., Andujar J.M. et al. Sun, Heat and Electricity. A Comprehensive Study of Non-pollutant Alternatives to Produce Green Hydrogen. *International Journal of Energy Research*, 2022, vol. 46, iss. 13, pp. 17999–18028. URL: <https://doi.org/10.1002/er.8505>
5. Khalilpour K.R., Pace R., Karimi F. Retrospective and Prospective of the Hydrogen Supply Chain: A Longitudinal Techno-Historical Analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, iss. 59, pp. 34294–34315. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.099>
6. Gomonov K., Reshetnikova M., Ratner S. Economic Analysis of Recently Announced Green Hydrogen Projects in Russia: A Multiple Case Study. *Energies*, 2023, vol. 16, iss. 10. URL: <https://doi.org/10.3390/en16104023>
7. Mastepanov A.M. [Hydrogen power engineering in Russia: State and prospects]. *Energeticheskaya politika = Energy Policy*, 2020, no. 12, pp. 54–65. URL: <https://energypolicy.ru/a-mastepanov-vodorodnaya-energetika-rossii-sostoyanie-i-perspektivy/energoperehod/2020/14/23/> (In Russ.)
8. Lambert M., Schulte S. Contrasting European Hydrogen Pathways: An Analysis of Differing Approaches in Key Markets. *OIES Paper*, 2021, no. 166. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/246554/1/978-1-78467-155-6_ng166.pdf
9. Kodaneva S.I. [The main directions and prospects of the energy transition in Russia]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii = Economic and Social Problems of Russia*, 2022, no. 1, pp. 79–95.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-i-perspektivy-energeticheskogo-perehoda-v-rossii/viewer> (In Russ.)

10. Slavetskaya N.S., Tumarova T.G. [Russia's place in the paradigm of hydrogen energy]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2021, no. 6, pp. 19–22.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-rossii-v-paradigme-vodorodnoy-energetiki/viewer> (In Russ.)

11. Popova I.M., Kolmar O.I. [Russia's low carbon development policy: Opportunities and constraints in the new economic and political reality]. *Vestnik mezhdunarodnykh organizatsii = International Organizations Research Journal*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 62–95. (In Russ.)

URL: <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-04-03>

12. Vasil'kova S.V. [Development of hydrogen energy in Russia: Challenges of the time and topical legal issues]. *Ekonomika. Pravo. Obshchestvo = Economics. Law. Society*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 50–58.

URL: <https://epo.rea.ru/jour/article/view/465/395> (In Russ.)

13. Moura J., Soares I. Financing Low-carbon Hydrogen: The Role of Public Policies and Strategies in the EU, UK and USA. *Green Finance*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 265–297. URL: <https://doi.org/10.3934/GF.2023011>

14. Wendt A., Sheriff A., Shih C.Y. et al. A Multi-criteria CCUS Screening Evaluation of the Gulf of Mexico, USA. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2022, vol. 118.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103688>

15. Cader J., Koneczna R., Olczak P. The Impact of Economic, Energy, and Environmental Factors on the Development of the Hydrogen Economy. *Energies*, 2021, vol. 14, iss. 16. URL: <https://doi.org/10.3390/en14164811>

16. Ren X., Dong L., Xu D., Hu B. Challenges towards Hydrogen Economy in China. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, iss. 59, pp. 34326–34345. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.163>

17. Wu W.-P., Wu K.-X., Zeng W.-K., Yang P.-C. Optimization of Long-distance and Large-scale Transmission of Renewable Hydrogen in China: Pipelines vs. UHV. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, vol. 47, iss. 58, pp. 24635–24650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.066>

18. Baboshkin P. Strategic Energy Partnership between Russia and China. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 158–163. URL: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9032>
19. Bhandari R., Shah R.R. Hydrogen as Energy Carrier: Techno-economic Assessment of Decentralized Hydrogen Production in Germany. *Renewable Energy*, 2021, vol. 177, pp. 915–931. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.149>
20. Galimova T., Fasihi M., Bogdanov D., Breyer C. Impact of International Transportation Chains on Cost of Green e-Hydrogen: Global Cost of Hydrogen and Consequences for Germany and Finland. *Applied Energy*, 2023, vol. 347. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121369>
21. Silberhorn D., Dahlmann K., Görtz A. et al. Climate Impact Reduction Potentials of Synthetic Kerosene and Green Hydrogen Powered Mid-Range Aircraft Concepts. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 12. URL: <https://doi.org/10.3390/app12125950>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.